Revista Internacional de
**Ingeniería
de Estructuras**

Vol. 24, 2, 167-199 (2019)

INTERFACE FOR *ICEINCI-LAB AND* NEW FUNCTIONS

Roberto Aguiar[1,3], Brian Cagua[2], Julia Pilatasig[2], Eddy Zambrano[3],

[1]Profesor. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de Fuerzas Amadas ESPE. Av. Gral. Rumiñahui s/n, Valle de los Chillos. rraguiar@espe.edu.ec
[2]Maestría en Estructuras. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. bjcagua@espe.edu.ec
jepilatasig3@espe.edu.ec
[3]Carrera de Ingeniería Civil. Facultad de Ingeniería. Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí.
zambranomendozaeddym05@gmail.com

Received: January 2019. Accepted: June 2019

ABSTRACT

The interface called **ICEINCI-LAB** version 1.0 is presented, which facilitates the entry of data from a 2d-frame that can have 10 spans and 10 floors, developed in Excel to later use the functions of computer system **CEINCI-LAB**.

This paper describes new functions that facilitate the entry of data in regular 2d-frame, considering a node in the middle of the beams, all this oriented to the seismic analysis. The new functions allow to enter the geometry of porticos with or without V-shaped, inverted steel braces.

keywords: Interface for ***ICEINCI-LAB.*** Computer system ***CEINCI-LAB***. New functions of ***CEINCI-LAB***.

INTERFASE *ICEINCI-LAB* Y NUEVAS FUNCIONES

RESUMEN

Se presenta el interfase denominado ***ICEINCI-LAB*** versión 1.0, que facilita la entrada de datos de un pórtico plano que puede tener 10 vanos y 10 pisos, desarrollado en Excel para posteriormente utilizar las funciones del sistema de computación ***CEINCI-LAB.***

Por otra parte, se presentan nuevas funciones que facilitan la entrada de datos en pórticos planos regulares, considerando nudo en la mitad de las vigas, todo esto orientado al análisis sísmico. Las nuevas funciones permiten ingresar la geometría de pórticos con o sin contravientos de acero en forma de V, invertida.

Palabras Claves: Interfase ***ICEINCI-LAB.*** Sistema de computación ***CEINCI-LAB***. Nuevas Funciones de ***CEINCI-LAB***.

1. INTRODUCCIÓN

CEINCI-LAB es un sistema de computación que fue desarrollado por el 2010 como una herramienta didáctica para enseñar las materias de Análisis Matricial de Estructuras y Análisis Sísmico de Estructuras, que el primero de los autores de este artículo dicta en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y Dinámica de Estructuras en la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, ULEAM.

La forma de uso de ***CEINCI-LAB*** se halla en Aguiar (2012, 2014) y algunos de los programas se hallan en la siguiente dirección electrónica.

http://departamentos.uleam.edu.ec/ingenieria-sismica/

Una vez que ingresa al link indicado busca la pestaña ***CEINCI-LAB*** y después se va a la carpeta de programas que le interesa y procede a descargarlos

El principal objetivo de ***CEINCI-LAB*** es que los estudiantes aprendan a resolver completamente y paso a paso un pórtico plano, armadura plana, una malla espacial (parilla), vigas de cimentación en dos y tres dimensiones. Aguiar (2014). Esto en lo que se refiere al análisis estático de estructuras.

Ahora dentro de la Dinámica de Estructuras el objetivo básico es que sepan hacer paso a paso el análisis sísmico por el Método Espectral de una estructura plana o espacial, compuesta por columnas, muros de corte y vigas. Aguiar (2012)

En el Ecuador el 70% de las edificaciones existentes son vulnerables ante la acción de los terremotos por lo que deben ser reforzadas sísmicamente, por esta razón es que también dentro de las materias indicadas se enseña el análisis de estructuras de hormigón con diagonales de acero en forma de “V” invertida sobre las cuales puede o no puede tener un disipador de energía. Aguiar y Castillo (2019, 1,2). También se puede hacer el análisis sísmico de estructuras con aisladores sísmicos, ubicados en cualquier parte de la estructura.

Para facilitar la entrada de datos se ha creado una Interfase en Excel que facilita notablemente el análisis estático y dinámico de estructuras, que será abordado en el presente artículo. Pero antes se hace un repaso de las funciones de ***CEINCI-LAB,*** y no está demás que el lector que recién se inicia en el Matlab consulte algún libro al respecto (García *et* al. 2018; Mañas y Pinta, 2018).

2. FUNCIONES BÁSICAS DE *CEINCI-LAB*

Existen varios programas que encuentran los grados de libertad para encontrar la matriz de rigidez lateral de un pórtico plano, que es la base para el análisis sísmico en dos o tres dimensiones. Estos programas son:

- ***[CG,ngl]=cg_sismo(nod,np,nr)***

Los datos son: ***nod*** número de nudos; ***np*** número de pisos; ***nr*** número de nudos restringidos. Este programa reporta la matriz que contiene las Coordenadas

Generalizadas de la estructura ***CG*** y el número de grados de libertad ***ngl***. Sirve para pórticos regulares en elevación en que cada elemento tiene dos nudos.

- ***[CG,ngl]=cg_sismo2(nod,nr,Y)***

  Los datos son: ***nod*** número de nudos; ***nr*** número de nudos restringidos; ***Y*** vector con las coordenadas en sentido Y de los nudos del pórtico. El programa reporta las Coordenadas Generalizadas ***CG*** y el número de grados de libertad ***ngl***.

Este programa sirve para estructuras regulares e irregulares en elevación. También sirve para estructuras regulares en que se consideran tres nudos en un elemento.

Normalmente se considera que los nudos son en los extremos del elemento pero es bueno considerar en la mitad del elemento un nudo, como se muestra en la figura 1 a. Esto ayuda a ver directamente los resultados en el centro de luz y lo más importante es que si se desea incorporar diagonales de acero en forma de “V” se lo puede hacer muy fácil.

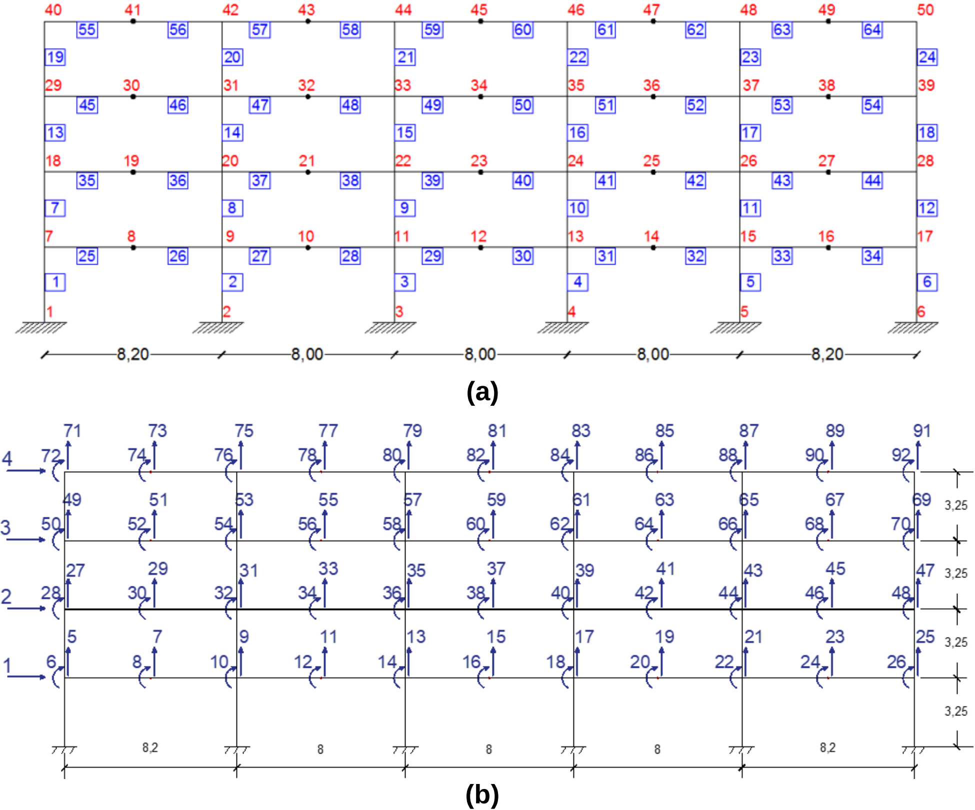


Figura 1 Pórtico en el cual se considera nudo en la mitad de las vigas; a) Numeración de nudos y elementos; b) Grados de libertad para el análisis sísmico.

En el análisis sísmico se considera que todo el piso se mueve lo mismo, en consecuencia se tiene un grado de libertad por piso (para el caso plano). Ahora bien, para el análisis sísmico ante la componente horizontal de movimiento del suelo, las coordenadas laterales son las más importante y en la figura 1 b, se han numerado primero.

Las funciones o programas de ***CEINCI-LAB*** que se requieren para dibujar el pórtico son los siguientes:

- ***[NI,NJ]=gn_portico (GEN)***

  El programa ***gn_portico*** sirve para obtener dos vectores que contienen al nudo inicial ***NI*** y al nudo final ***NJ*** de cada uno de los elementos del pórtico plano. La forma de uso del programa es: ***[NI,NJ]=gn_portico (GEN).*** Donde ***GEN*** es una matriz con la siguiente información para cada uno de los elementos: número del elemento; nudo inicial del elemento; nudo final del elemento; número de elementos a generar; incremento en la numeración de los elementos; incremento en la numeración del nudo inicial; incremento en la numeración del nudo final.

- ***[X,Y] = glinea_portico (Nudos)***

  El programa ***glinea_portico*** genera las coordenadas de los nudos, tanto en sentido X, como en sentido Y. La forma de uso es: ***[X,Y] = glinea_portico (Nudos)*** Donde ***Nudos*** es una matriz que contiene: Número de nudo; coordenada en X del nudo; coordenada en Y del nudo; número de nudos a generar; incremento en la numeración del nudo; incremento de longitud en sentido X; incremento de longitud en sentido Y. Reporta dos vectores ***X,Y*** con las coordenadas en X y de cada nudo.

En caso de que se decide utilizar el programa ***cg_sismo2*** para generar los grados de libertad. Esto se lo debe hacer después de que se obtenga el vector Y, con el programa ***glinea_portico***

- ***dibujo (X,Y,NI,NJ)***

  El programa ***dibujo***, presenta la estructura, es importante utilizar este programa para verificar si se han ingresado bien los datos. La forma de uso es: ***dibujo (X,Y,NI,NJ)*** Las variables de entrada de este programa ya fueron indicadas.

Para encontrar la matriz de rigidez de la estructura por ensamblaje directo se necesitan los siguientes programas.

- ***[L,seno,coseno]=longitud (X,Y,NI,NJ)***

  El programa ***longitud*** determina la longitud; $sen\,\alpha$ y $\cos\alpha$ de cada uno de los elementos de una estructura plana. Donde α es el ángulo que forma el eje del elemento con el eje de las X. El programa reporta tres

vectores, denominados ***L***, que contiene la longitud de cada uno de los elementos; ***seno*** con el valor de la función seno de cada elemento y ***coseno*** con el valor del coseno de cada elemento.

- ***[ELEM]=gelem_portico(SECCION)***

  Para estructuras de hormigón armado el archivo ***SECCION*** contiene el número del elementos; la base y la altura de la sección transversal; el número de elementos que tienen la misma sección; el incremento de la numeración de los elementos que se están generando.

  Para estructuras de acero en lugar de dar la base y la altura se da el área y la inercia de la sección transversal.

  Para el caso de estructuras de hormigón armado, el archivo ELEM contiene la base y la altura de cada uno de los elementos. Para estructuras de acero ELEM contiene el área y el momento de inercia de la sección transversal.

- ***[VC] = vc (NI,NJ,CG)***

  El programa ***vc*** determina los vectores de colocación de estructuras que tienen dos o tres grados de libertad por nudo. La forma de uso es: ***[VC] = vc (NI,NJ,CG)***. Donde ***NI*** es el vector que contiene a los nudos iniciales; ***NJ*** el vector con los nudos finales; ***CG*** es una matriz con las coordenadas generalizadas. El programa reporta la matriz que contiene a los vectores de colocación de cada uno de los elementos. El vector de colocación está compuesto por los grados de libertad del nudo inicial y del nudo final. Para los elementos de un pórtico plano se tienen 6 cantidades por cada elemento.

- ***[KH] = krigidez (ngl, ELEM, L, seno, coseno, VC, Ec)***

  Programa que determina la matriz de rigidez de Pórticos Planos con elementos de hormigón armado. Las variables que han sido ya definidas son: ***ngl*** es el número de grados de libertad de la estructura; ***ELEM*** contiene la base y la altura de los elementos ***L***, es un vector con la longitud de cada uno de los elementos; ***seno, coseno,*** vectores con los senos y cosenos de cada elemento; ***VC*** es la matriz con los vectores de colocación de cada elemento; ***Ec*** es el módulo de elasticidad del material;

- ***[KA]=krigidez_acero(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,Es)***

  El programa determina la matriz de rigidez de toda la estructura con elementos de acero, la entrada de datos es similar al programa anterior pero lo que cambia es el contenido de ***ELEM*** en este caso tiene el área y la inercia de los elementos; otra variable que cambia es ***Es*** que contiene al módulo de elasticidad del acero.

Una vez que se encuentra la matriz de rigidez de la estructura con todos los grados de libertad, el usuario del sistema de computación ***CEINCI-LAB*** tiene que particionar ésta matriz y hallar la matriz de rigidez lateral ya sea mediante el cálculo de la inversa de una matriz o mediante la solución de un sistema de ecuaciones lineales. Aguiar (2012, 2014)

Pero existe otra forma de obtener la matriz de rigidez lateral mediante la triangularización de la matriz de rigidez, para ello las coordenadas principales deben numerarse al final. En este caso, los grados de libertad de la estructura se hallan con el siguiente programa.

- ***[CG,ngl]=cg_sismo_gaus2(nod,nr,Y)***

  Los datos de ingreso del programa ***cg_sismo_gaus2*** son los mismos que los utilizados en el programa ***cg_sismo2.*** La matriz de rigidez lateral se halla con el programa.

- ***[KL]=kcondensada(K,nb)***

  Donde ***K*** es la matriz de rigidez asociada a todos los grados de libertad; ***nb*** es el número de coordenadas principales (que esta vez se numeraron al final). El programa reporta la matriz de rigidez lateral ***KL.***

3. INTERFASE *ICEINCI-LAB*

Se tienen varias plantillas en EXCEL, que facilitan la entrada de datos, una de ellas es la mostrada en la figura 2, en que se tiene dibujado un pórtico de 10 vanos y 10 pisos. En esta plantilla el lector colocará las luces de los vanos en metros en la fila que dice ***Longitud***. Por otro lado, debe indicar la ***Altura de Piso*** en el eje vertical.

Si el pórtico tiene menos de 10 pisos y 10 vanos, coloca las luces y alturas de piso que tiene. De tal manera que se puede analizar una estructura de cualquier número de pisos y vanos.

Para las columnas existen dos casilleros, lo propio para las vigas, donde se colocará la base y la altura en centímetros de los elementos del pórtico. Si se tiene un pórtico con columnas circulares en la parte inferior derecha existen tres casilleros, en el primero de ellos se coloca el diámetro de la columna en cm, y el programa calcula el área y la inercia de la columna circular de hormigón armado.

Para el caso de columnas circulares el área y la inercia se indican en los respectivos casilleros del pórtico.

Ahora en la parte inferior izquierda se tiene dos casilleros en el superior se indica la resistencia máxima del hormigón a compresión en $Kg/_{cm^2}$. En el casillero inferior se indica el coeficiente con el cual se halla el módulo de elasticidad del hormigón. Está programado para la siguiente expresión.

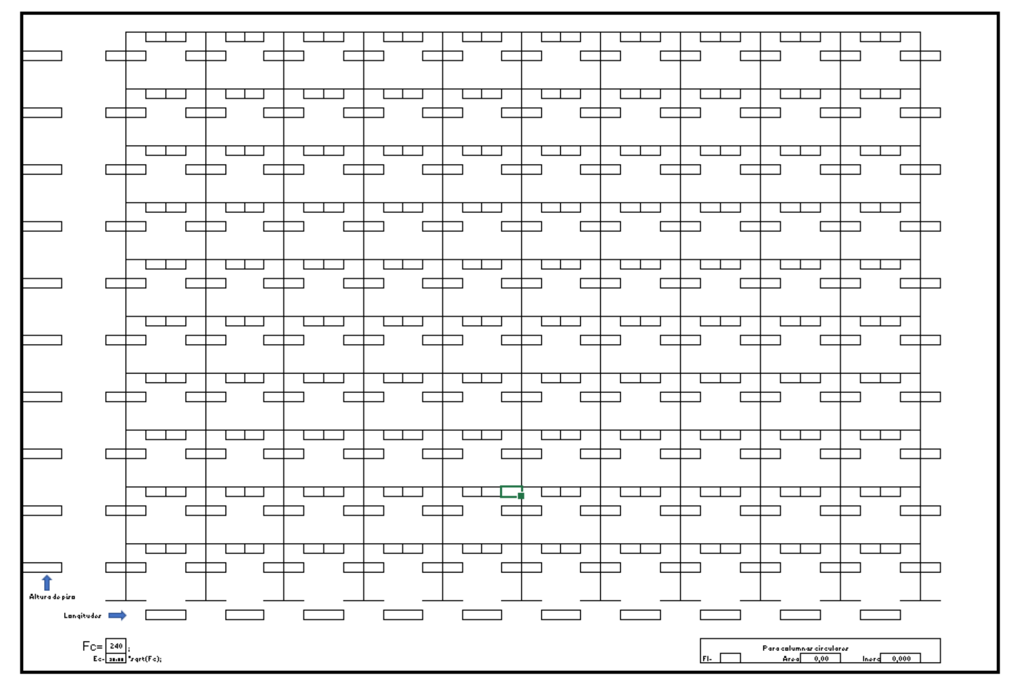


Figura 2 Plantilla para el análisis sísmico de pórticos compuestos por columnas y vigas. Fuente: ***ICEINCI-LAB***

$$E = 15000\sqrt{f_c'} \qquad \left(\frac{kg}{cm^2}\right) \tag{1}$$

$$E = 150000\sqrt{f_c'} \qquad \left(\frac{T}{m^2}\right)$$

Esta 150000 para obtener el módulo de elasticidad en $T/_{m^2}$. Si se desea trabajar con otro coeficiente para hallar el módulo de elasticidad, se debe dar este valor en el casillero inferior.

La interfase ***ICEINCI-LAB*** lo que hace es pasar los datos del pórtico en forma gráfica a datos en ***MATLAB*** y luego utiliza todas las funciones del sistema de computación ***CEINCI-LAB*** de tal manera que se emplean los programas indicados en el párrafo anterior y todos los demás programas que existen. A continuación se indican otros programas para el análisis sísmico con el Método Espectral y posteriormente se realizarán ejemplos.

Lo importante es destacar que la interface ***ICEINCI-LAB*** lo que hace es facilitar la entrada de datos y el lector debe saber realizar el análisis sísmico por el Método Espectral, ya sea en dos o tres dimensiones. Se recuerda que el sistema de computación ***CEINCI-LAB*** tiene carpetas para el análisis sísmico de estructuras con disipadores de energía o con aisladores sísmicos, de tal manera que vale la pena conocer más sobre ***CEINCI-LAB***

4. FUNCIONES PARA EL MÉTODO ESPECTRAL

Si la estructura es regular y de pocos pisos, se puede hacer un análisis sísmico plano o un análisis sísmico espacial considerando un grado de libertad por planta. En estos dos casos, suficiente es encontrar la matriz de rigidez lateral, con las funciones indicadas en el apartado 2.

Ahora si la estructura es irregular se recomienda hacer un análisis sísmico con tres grados de libertad por planta. También se puede trabajar con este modelo en el análisis de una estructura regular como la indicada en la figura 3 que sirve para ilustrar las coordenadas de piso $\boldsymbol{Q-q}$, y las coordenadas laterales de los pórticos que se ha denominado sistema $\boldsymbol{P-p}$. El marco teórico del cálculo de la matriz de rigidez en coordenadas de piso se halla en Aguiar (2012, 2014) y el Método Espectral en Aguiar (2012).

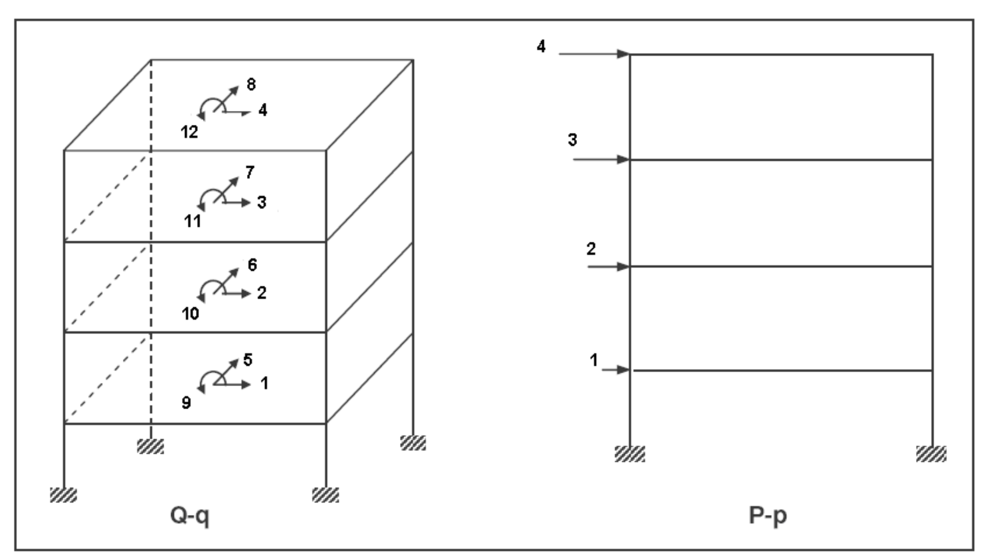


Figura 3 Sistema de coordenadas de Piso y Coordenadas Laterales. Fuente: Aguiar (2014)

- ***[KE,A]=matriz_es1(ntot,NP,KLT,RT,ALPHA)***

  Programa que encuentra la matriz de rigidez en coordenadas de piso, los datos de entrada son: ***ntot*** es el número total de pórticos; ***NP*** es el número de pisos; ***KLT*** es una matriz que contiene la matriz de rigidez lateral de todos los pórticos, se recomienda dar primero todos los pórticos en el sentido de análisis sísmico y luego en el sentido ortogonal; ***RT*** es una matriz las matrices que contienen la distancia del centro de masas al pórtico en cada uno de los pisos, se debe dar en el mismo orden en que se dieron las matrices de rigidez lateral; ***ALPHA*** es un vector que contiene el ángulo α de la orientación positiva del pórtico con respecto al eje X. Es un dato por cada pórtico.

El programa reporta la matriz de rigidez en coordenadas de piso ***KE*** y la matriz de compatibilidad ***A*** de cada pórtico, que relaciona las coordenadas de piso $\boldsymbol{q}$ con las coordenadas laterales ***p***

La matriz de masas, tanto para el caso plano como para el espacial, debe ser calculada y programada por el usuario de ***CEINCI-LAB.*** Se recuerda que el objetivo del sistema de computación es que el usuario aprenda a resolver paso a paso una estructura. Por este motivo se deja al usuario que haga unos cálculos pequeños como hallar la matriz de Masas.

- ***[T,fi,OM]=orden_eig(KE,M)***

Los datos de entrada del programa ***orden_eig*** son la matriz de rigidez y la matriz de masas. Si se está realizando un análisis sísmico plano se dará la matriz de rigidez lateral del pórtico y su respectiva matriz de masas. Si es un análisis sísmico con un grado de libertad por planta se da la matriz de rigidez $\boldsymbol{K_{XX}}$ y su respectiva matriz de masas. Si es un análisis sísmico espacial se da la matriz de rigidez en coordenadas de piso $\boldsymbol{K_E}$ y la matriz de masas. El programa reporta los períodos de vibración en un vector ***T***, los modos de vibración en una matriz ***fi*** y las frecuencias de vibración en un vector ***OM***

Por cierto, los nombres de este programa y de los anteriores son arbitrarios, el usuario sabrá que nombre darles.

- ***[Ad]=espectros_manta(T)***

A manera de ejemplo se trabaja con los espectros obtenidos en Manta del terremoto de 2016 (M=7.8). Para este caso, se da como dato los períodos de vibración ***T***, el programa solicita con que componente desea trabajar, con la Norte-Sur o con la Este-Oeste. El programa reporta las aceleraciones espectrales ***Ad*** para cada período de vibración.

No existe programa para encontrar los factores de participación modal Γ_i por lo que el usuario debe programar su cálculo.

$$\Gamma_i = \frac{\boldsymbol{\phi}^{(i)t}\,\boldsymbol{M}\,\boldsymbol{b}}{\boldsymbol{\phi}^{(i)t}\,\boldsymbol{M}\,\boldsymbol{\phi}^{(i)}} \qquad (2)$$

Donde $\boldsymbol{\phi}^{(i)}$ es el modo de vibración i; $\boldsymbol{M}$ es la matriz de masas; $\boldsymbol{b}$ es el vector de incidencia del movimiento del suelo en los grados de libertad. Para el análisis sísmico plano el vector $\boldsymbol{b}$ es unitario.

- ***[qt]=desplazamientos_modales_CQC(T,fi,Ad,FP,na,Wn,zeda)***

  El programa ***desplazamientos_modales_CQC*** encuentra los desplazamientos en cada modo de vibración, aplica el criterio de la combinación cuadrática completa CQC y halla los desplazamientos laterales ***qt***. Los datos de entrada son los períodos de vibración ***T***; los modos de vibración ***fi***; las aceleraciones espectrales ***Ad;*** los factores de participación modal; ***na*** el número de coordenadas principales; ***Wn*** las frecuencias naturales de vibración; **zeda** el factor de amortiguamiento.

Los desplazamientos laterales que se han hallado son elásticos para encontrar los desplazamientos inelásticos se multiplica por el factor de reducción de las fuerzas sísmicas R, si se trabaja con inercias gruesas (ecuación 3) o sino por 0.75 R, si el análisis sísmico se ha realizado con inercias agrietadas (ecuación 4). Todo esto de acuerdo a la Norma Ecuatoriana de la Construcción de 2015 (NEC-15)

$$q_{ine} = R\ q_t \tag{3}$$

$$q_{ine} = \frac{3}{4}\ R\ q_t \tag{4}$$

- ***[Derv]=deriva(Y,qine)***

  El programa ***deriva*** grafica los desplazamientos laterales y encuentra las derives de cada uno de los pisos, para ello requiere el vector ***Y*** que contiene las ordenadas de los nudos; $\boldsymbol{qine}$ los desplazamientos inelásticos con los que desea encontrar las derivas de piso. Si se da como dato los desplazamientos elásticos se encuentra las derivas elásticas.
  En estructuras irregulares en elevación es conveniente definir el vector Y, con las distancias desde la base a cada una de las masas.

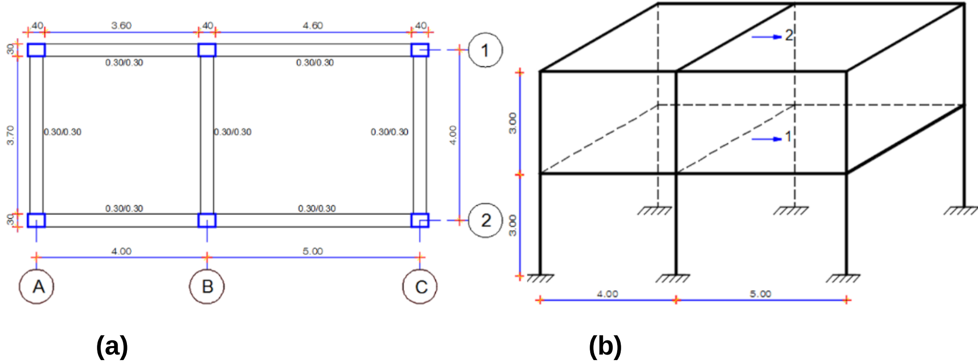
- ***[Vt,Ft]=fuerzas_modales_CQC(M,fi,Ad,gama,na,Wn,zeda)***

  El programa ***fuerzas_modales_CQC*** determina los cortantes en cada piso ***Vt***, las fuerzas laterales en cada piso ***Ft.*** Los datos de entrada son la matriz de masas ***M;*** la matriz modal ***fi;*** las aceleraciones espectrales ***Ad*** encontradas con el espectro reducido por el factor **R;** el número de coordenadas principales ***na***; las frecuencias de vibración en cada modo ***Wn***, el factor de amortiguamiento zeda.

5. ANÁLISIS CON UN GRADO DE LIBERTAD POR PISO

Se desea realizar un análisis sísmico en sentido longitudinal de la estructura indicada en la figura 4, ante la componente E-W del espectro de Manta del terremoto de 2016, con un modelo de un grado de libertad por planta. Todas las columnas son de 30/40 cm, las vigas de 30/30 cm; la altura de entrepisos es de

3.0 m; las luces son de 4 m, y 5 m. La resistencia del hormigón a compresión es $f'_c = 240\ ^{kg}/_{cm^2}$. La carga muerta considerada es $D = 600\ ^{kg}/_{m^2}$, la carga viva $L = 200\ ^{kg}/_{m^2}$ Es una vivienda. Considerar un factor $R = 3$. Este ejercicio se halla resuelto paso a paso a mano en Aguiar (2014).



(a) **(b)**

Figura 4 a) Vista en planta de estructura con columnas de 30/40 cm, y vigas de 30/30 cm; b) Modelo de un grado de libertad por planta en el centro de masas.

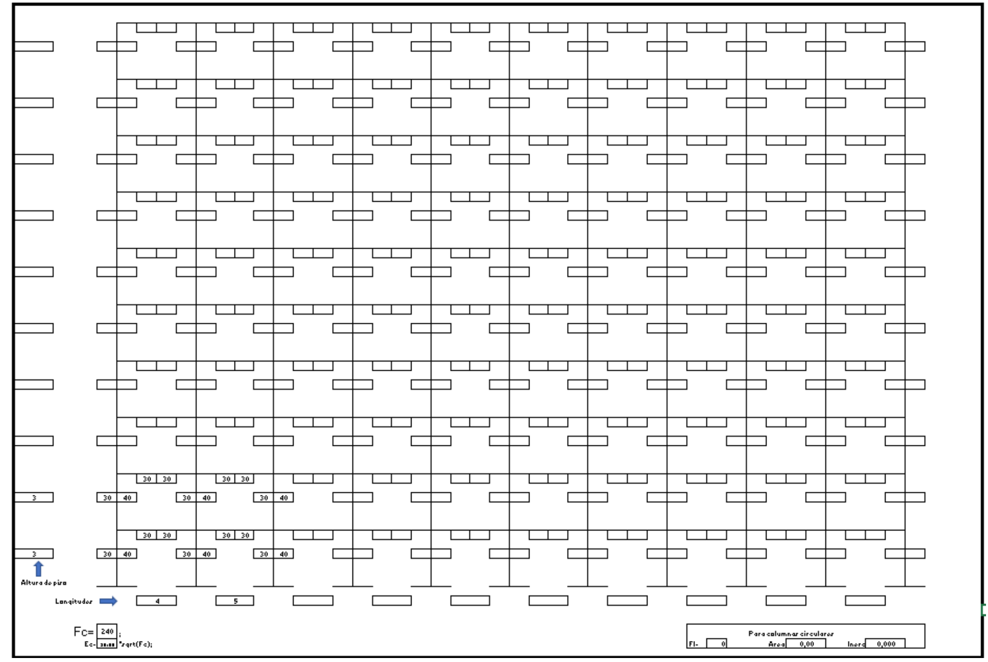


Figura 5 Planilla en EXCEL. En la parte inferior izquierda se muestra las dimensiones de columnas y vigas de un pórtico en sentido longitudinal. Al archivo en EXCEL se ha denominado DP3 y a la página donde está la plantilla DPY

En la parte inferior izquierda de la figura 5, se observa uno de los pórticos en sentido longitudinal; las dimensiones de columnas y vigas está en centímetros

primero se indica la base y luego la altura de la sección transversal. Se muestra además las luces y alturas de piso. En la parte inferior se encuentra la resistencia del hormigón en $^{kg}/_{cm^2}$ y el coeficiente con el que se halla el módulo de elasticidad (150000) para tener en $^{T}/_{m^2}$. A continuación se lista el programa con el cual se enlaza el archivo Excel con MATLAB. El usuario solo debe indicar el nombre del documento en Excel (En este caso DP3) y el nombre de la página en que está la planilla (En este caso DPY).

```
%            Análisis sísmico en sentido longitudinal de
Estructura de
%            libro, considerando un grado de libertad por
piso
%
%             Dr. Roberto Aguiar y Eddy Zambrano
%                           2018-2019

%Análisis en sentido longitudinal
clc;clear
%Nombre del documento excel
NDC='DP3.xlsx';
%Nombre de la hoja de excel
NH='DPY'; %Datos del Portico 1 y 2
%%numero de nudos
nod=xlsread(NDC,NH,'BB97:BB97');
%%numero de pisos
np=xlsread(NDC,NH,'BB99:BB99');
%%numero de nudos restringidos
nr=xlsread(NDC,NH,'BB101:BB101');
%%Altura
H=xlsread(NDC,NH,'BB103:BB103');
%%Longitud Total del Portico
Lt=xlsread(NDC,NH,'BB105:BB105');
Fc=xlsread(NDC,NH,'BB106:BB106');
Ec=xlsread(NDC,NH,'BB107:BB107')*sqrt(Fc);
%GENERACION DE ELEMENTOS
 GEN=[xlsread(NDC,NH,'CX111:DD220')
      xlsread(NDC,NH,'CX221:DD320')];
%GENERACION DE NUDOS
NUDOS=[xlsread(NDC,NH,'DH111:DN231')];
%GENERACION DE SECCIONES
SECCION=[xlsread(NDC,NH,'DR111:DV320')];
```

Para calcular la matriz de rigidez lateral se utilizan los programas indicados en el apartado 2.

Lo que se lista a continuación es lo que sigue al programa en MATLAB y son las funciones de ***CEINCI-LAB***

```
[X,Y]=glinea_portico(NUDOS); % Coordenadas de nudos
[NI,NJ]=gn_portico(GEN); % Vectores de Nudo Inicial y Final
[CG,ngl]=cg_sismo(nod,np,nr); % Coordenadas Generalizadas
dibujo(X,Y,NI,NJ);
[ELEM]=gelem_portico(SECCION); % Base y altura de elementos
[L,seno,coseno]=longitud (X,Y,NI,NJ);%Longitud, Seno y Coseno
[VC]=vc(NI,NJ,CG);% Matriz con los Vectores de colocacion
[K]=krigidez(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,Ec);%Matriz de rigidez
%Condensación de la matriz de rigidez
na=np;%% numero de pisos
kaa=K(1:na,1:na);kab=K(1:na,na+1:ngl);
kba=kab';kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);
KL1=kaa-kab*inv(kbb)*kba
```

La matriz de rigidez lateral que se obtiene es:

$$\boldsymbol{K}_L^{(1)} = \begin{bmatrix} 7013.4 & -2762.7 \\ -2762.7 & 1772 \end{bmatrix}$$

Los dos pórticos en sentido longitudinal son iguales. Por lo tanto la matriz de rigidez en coordenadas de piso, para el modelo de un grado de libertad por planta $\boldsymbol{K}_{xx} = 2 * \boldsymbol{K}_L^{(1)}$. Se considera que las masas son iguales en los dos pisos. Luego el programa que conduce al cálculo de la matriz de masas, de los períodos y modos de vibración, es:

```
%Propiedades Dinámicas con modelo de un grado de libertad por
piso
Kxx=2*KL1;
D=0.6; L=0.2; Po=D+0.25*L; area=9*4;
m1=Po*area/9.8; m2=m1; M=mdiag(m1,m2) % Matriz de Masas
[T,fi,OM]=orden_eig(Kxx,M);
```

$$\boldsymbol{M} = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2.3878 & 0.0 \\ 0.0 & 2.3878 \end{bmatrix}$$

$$T_1 = 0.2839\ s \qquad T_2 = 0.0758\ s$$

$$\boldsymbol{\phi}^{(1)} = \begin{bmatrix} -0.2555 \\ -0.5946 \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{\phi}^{(2)} = \begin{bmatrix} -0.5946 \\ 0.2555 \end{bmatrix}$$

A continuación se presenta el cálculo de los desplazamientos, derivas de piso y fuerzas laterales, en centro de masas. Ante la componente E-W del Espectro de Manta del terremoto de 2016 (M=7.8) De acuerdo al NEC-15 la deriva de piso inelástica no depende del factor de reducción de las fuerzas sísmicas R. Para hallar las fuerzas laterales se dividió las ordenadas espectrales elásticas para el factor $R = 3$, dato del ejemplo.

```
%Factores de participación modal y Método Espectral
b=[1;1];zeda=0.05;
for i=1:na
   gama(:,i)=abs(((fi(:,i))'*M*b)/((fi(:,i))'*M*(fi(:,i))));
end
[Ad]=espectros_manta(T);
[qt]=desplazamientos_modales_CQC(T,fi,Ad,gama,na,OM,zeda);
[Derv]=deriva(Y,qt);
R=3;Ad=Ad/R;
[Vt,Ft]=fuerzas_modales_CQC(M,fi,Ad,gama,na,OM,zeda);
```

En la tabla 1, se presentan los desplazamientos laterales q en centímetros, las derivas de piso γ en % y las fuerzas laterales F en Toneladas.

Tabla 1 Desplazamientos, derivas de piso y fuerzas laterales en Centro de Masas

Piso	q (cm)	γ (%)	F (T.)
1	1.25	0.415	4.87
2	2.90	0.550	11.33

En la figura 6, se muestran los desplazamientos laterales y derivas de piso que reporta el programa ***deriva***

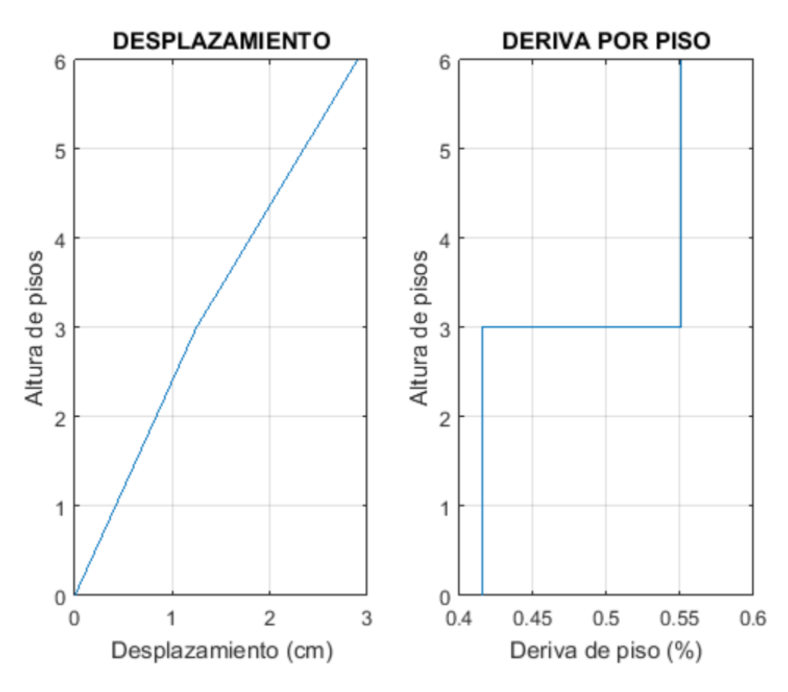


Figura 6 Desplazamientos y Derivas de piso en Centro de Masa que reporta programa ***deriva.***

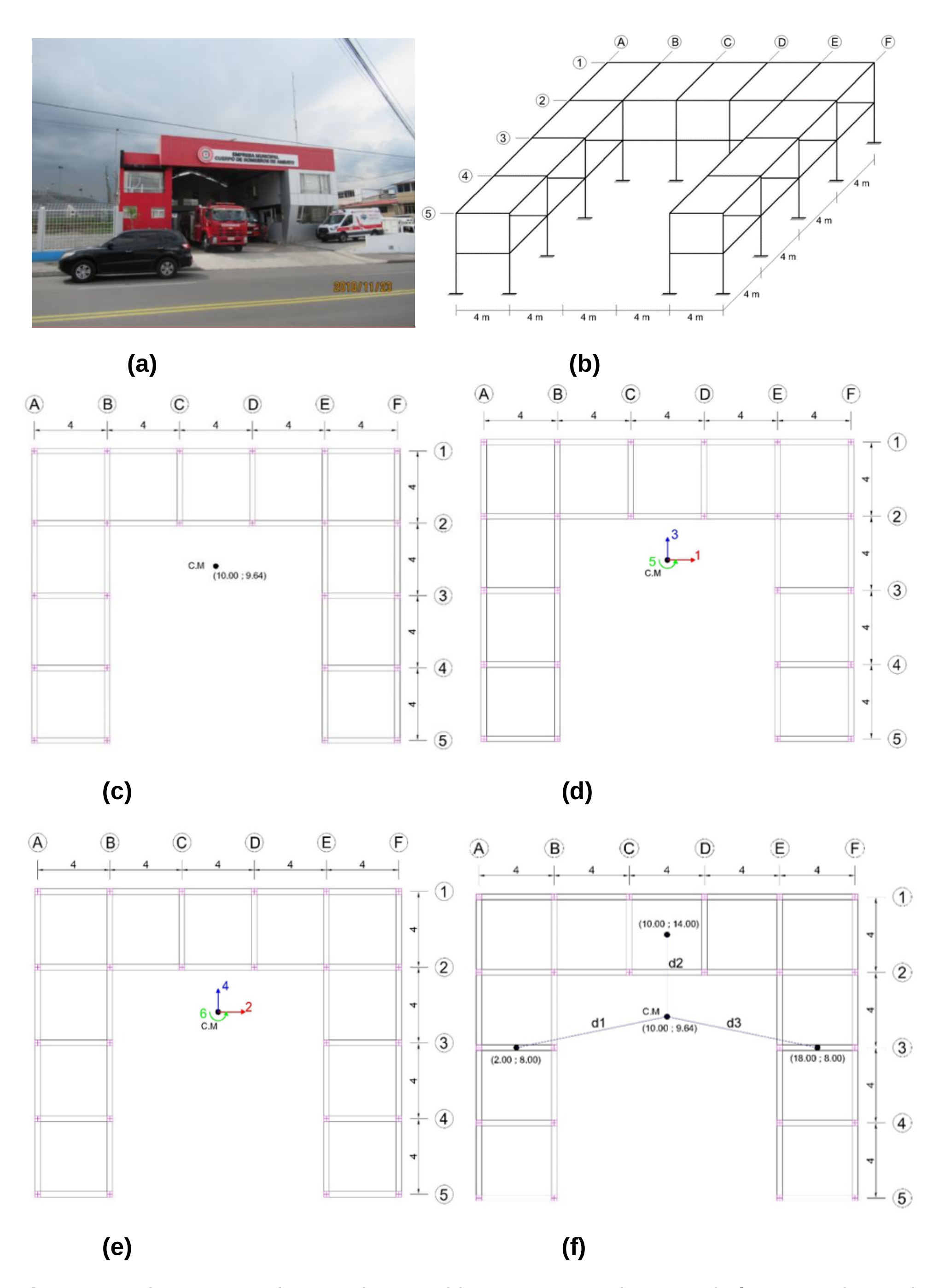


Figura 7 a) Cuerpo de Bomberos; b) Estructura de Hormigón Armado ; c) Ubicación del Centro de Masas; d) Grados de libertad de primera planta; e) Grados de libertad de segunda planta; f) Distancias del Centro de Masas.

6. ANÁLISIS CON TRES GRADOS DE LIBERTAD POR PISO

Se desea realizar el análisis sísmico con tres grados de libertad por planta de la estructura del Cuerpo de Bomberos que se indica en la fotografía de la figura 7 a; en la parte central se tiene una cubierta de acero que está apoyada sobre las losas del segundo piso que se indica en la figura 7 b, de tal manera que se tiene una estructura irregular en planta; en la figura 7 c, se muestra la ubicación del Centro de Masas referido al eje A-5; en las figuras 7 d, y e, se muestra la numeración de los grados de libertad.

Para el cálculo del momento de inercia de las masas se consideraron tres figuras rectangulares que son: i) La que está a la izquierda de 4 por 16 m; ii) La central de 4 por 12 m; iii) La que está a la derecha de 4 por 16 m. En la figura 7 f, se indican las distancias desde el centro de masas a cada una de las figuras rectangulares.

Todas las columnas son de 30/30 cm, y las vigas de 30/40 cm, de tal manera que fueron diseñadas con el criterio de viga fuerte-columna débil, contrario a la filosofía de diseño. Por otra parte el hormigón tiene una resistencia a la compresión $f_c' = 180\ {kg}/_{cm^2}$.

La carga muerta $D = 0.5\ {T}/_{m^2}$, y la carga viva $L = 0.2\ {T}/_{m^2}$. Para el análisis sísmico se considera el 25% de la carga viva. Se va a realizar un análisis sísmico en sentido transversal ante el espectro obtenido en Manta del terremoto de 2016 (M=7.8), para la componente N-S.

El archivo de la interface ***ICEINCI-LAB*** se llama **DP2** y tiene 4 hojas de cálculo ya que se debe determinar la matriz de rigidez lateral de 4 pórticos, a saber: i) Pórtico 1, la matriz de rigidez lateral de este pórtico es igual a la del Pórtico 2; la entrada de datos se halla en la página **DPX;** ii) Pórtico 3, que se halla en la página **DPX2**, ahí se observa un pórtico de un vano y dos pisos. Por lo tanto la matriz de rigidez lateral de este pórtico será igual a dos veces la matriz de rigidez lateral del pórtico de un vano y dos pisos. Los Pórticos 4 y 5 tienen la misma matriz de rigidez lateral; iii) Pórtico A, que se encuentra en la página **DPY**. La matriz de rigidez lateral de este pórtico es igual a la del Pórtico B, Pórtico E y Pórtico F; iv) Pórtico C, se halla en la página **DPY1.** La matriz de rigidez lateral de este pórtico es igual a la del D. Estrictamente no se requiere está página debido a que la matriz de rigidez lateral del Pórtico C es igual a la matriz de rigidez lateral del Pórtico 3 pero sin multiplicar por 2. Se deja la página DPY1 talvez para que sea didáctico.

En la figura 8 se muestran las plantillas que se han creado en el archivo DP2 y en las páginas: DPX para el Pórtico 1; DPY1 para el Pórtico C; DPY para el Pórtico A.

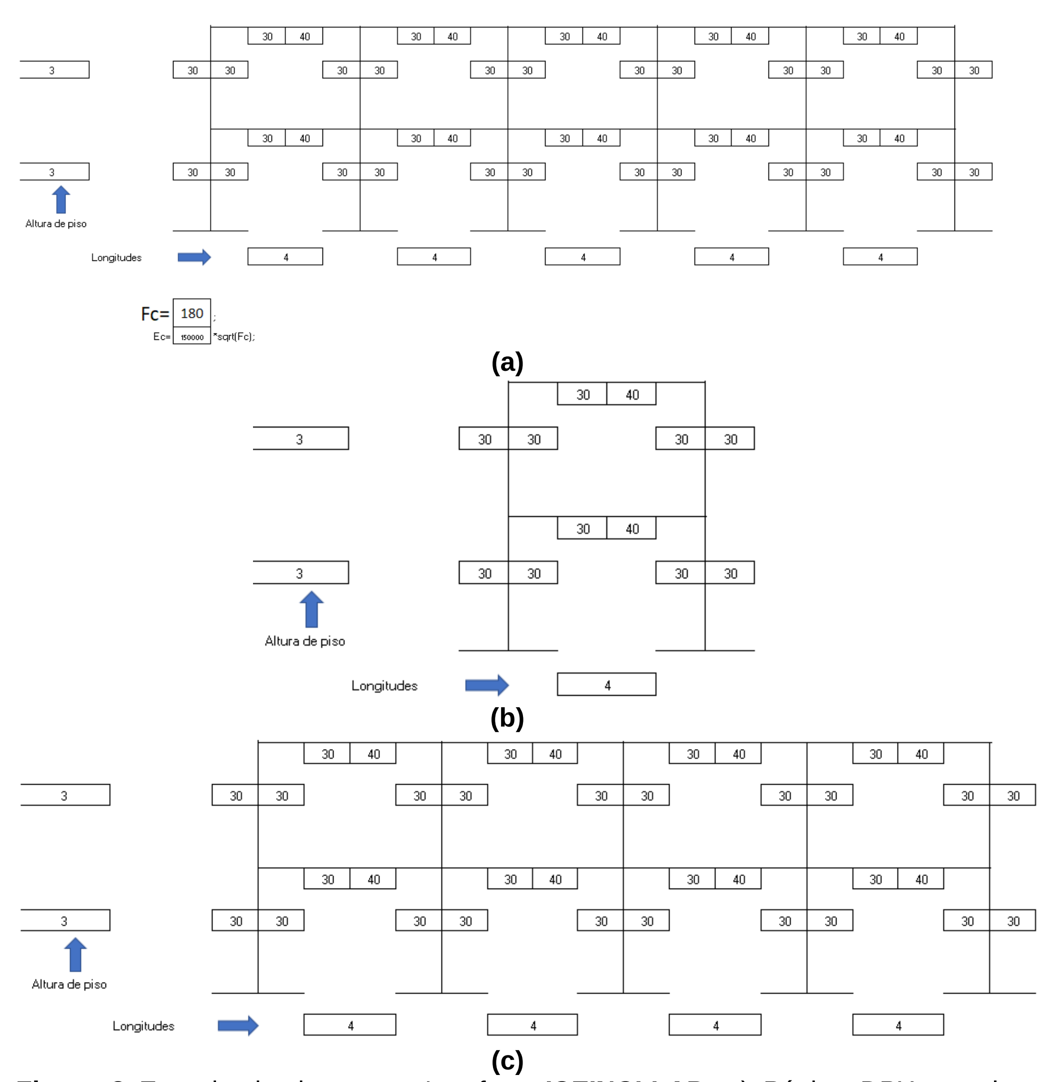


Figura 8 Entrada de datos con Interface ***ICEINCI-LAB;*** a) Página DPX, es el Pórtico 1; b) Página DPY1, es el Pórtico C; c) Página DPY, es el Pórtico A

La entrada de datos con la cual se obtiene la matriz de rigidez lateral del Pórtico 1, utilizando la interface ***ICEINCI-LAB*** y los cálculos de la misma utilizando los programas de ***CEINCI-LAB*** se indican a continuación.

```
%           Análisis sísmico espacial de Cuerpo de Bomberos
%                       En sentido Transversal
%                 Dr. Roberto Aguiar y Eddy Zambrano
%                            2018-2019

%Pórticos en sentido longitudinal
clc;clear
%Nombre del documento excel
NDC='DP2.xlsx';
%Nombre de la hoja de excel
NH='DPX'; %Datos del Portico 1 y 2
%%numero de nudos
nod=xlsread(NDC,NH,'BB97:BB97');
%%numero de pisos
np=xlsread(NDC,NH,'BB99:BB99');
%%numero de nudos restringidos
nr=xlsread(NDC,NH,'BB101:BB101');
%%Altura
H=xlsread(NDC,NH,'BB103:BB103');
%%Longitud Total del Portico
Lt=xlsread(NDC,NH,'BB105:BB105');
Fc=xlsread(NDC,NH,'BB106:BB106');
Ec=xlsread(NDC,NH,'BB107:BB107')*sqrt(Fc);
%GENERACION DE ELEMENTOS
 GEN=[xlsread(NDC,NH,'CX111:DD220')
      xlsread(NDC,NH,'CX221:DD320')];
%GENERACION DE NUDOS
NUDOS=[xlsread(NDC,NH,'DH111:DN231')];
%GENERACION DE SECCIONES
SECCION=[xlsread(NDC,NH,'DR111:DV320')];
%%Generación de las coordenadas de los nudos
[X,Y]=glinea_portico(NUDOS);
[NI,NJ]=gn_portico(GEN);
[CG,ngl]=cg_sismo(nod,np,nr);
%dibujo(X,Y,NI,NJ);
[ELEM]=gelem_portico(SECCION);
[L,seno,coseno]=longitud (X,Y,NI,NJ);
[VC]=vc(NI,NJ,CG);
[K]=krigidez(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,Ec);
na=np;%% numero de pisos
kaa=K(1:na,1:na);kab=K(1:na,na+1:ngl);
kba=kab';kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);
KL1=kaa-kab*inv(kbb)*kba
```

$$\boldsymbol{KL}^{(1)} = \boldsymbol{KL}^{(2)} = \begin{bmatrix} 6489.02 & -3020.3 \\ -3020.3 & 2628.3 \end{bmatrix}$$

A continuación se presenta el cálculo de la matriz de rigidez lateral del Pórtico 3. Nótese que se obtuvo la matriz de rigidez de un pórtico de un vano y dos pisos por eso al final, se multiplica por 2, la matriz condensada.

```
%% Pórticos de un vano 3, 4, y 5
%Nombre del documento excel
NDC='DP2.xlsx';
%Nombre de la hoja de excel
NH='DPX2';
%%numero de nudos
nod=xlsread(NDC,NH,'BB97:BB97');
%%numero de pisos
np=xlsread(NDC,NH,'BB99:BB99');
%%numero de nudos restringidos
nr=xlsread(NDC,NH,'BB101:BB101');
%%Altura Total
H=xlsread(NDC,NH,'BB103:BB103');
%%Longitud Total
Lt=xlsread(NDC,NH,'BB105:BB105');
Fc=xlsread(NDC,NH,'BB106:BB106');
Ec=xlsread(NDC,NH,'BB107:BB107')*sqrt(Fc);
%GENERACION DE ELEMENTOS
 GEN=[xlsread(NDC,NH,'CX111:DD220')
      xlsread(NDC,NH,'CX221:DD320')];
%GENERACION DE NUDOS
NUDOS=[xlsread(NDC,NH,'DH111:DN231')];
%GENERACION DE SECCIONES
SECCION=[xlsread(NDC,NH,'DR111:DV320')];
%%Generación de las coordenadas de los nudos
[X,Y]=glinea_portico(NUDOS);
[NI,NJ]=gn_portico(GEN);
[CG,ngl]=cg_sismo(nod,np,nr);
%dibujo(X,Y,NI,NJ);
[ELEM]=gelem_portico(SECCION);
[L,seno,coseno]=longitud (X,Y,NI,NJ);
[VC]=vc(NI,NJ,CG);
[K]=krigidez(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,Ec);
na=np;%% numero de pisos
kaa=K(1:na,1:na);kab=K(1:na,na+1:ngl);
kba=kab';kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);
KL3=2*(kaa-kab*inv(kbb)*kba)
```

$$\boldsymbol{KL}^{(3)} = \boldsymbol{KL}^{(4)} = \boldsymbol{KL}^{(5)} = \begin{bmatrix} 4191.5 & -1894.5 \\ -1894.5 & 1558.0 \end{bmatrix}$$

A continuación se muestra el cálculo de la matriz de rigidez lateral del Pórtico A.

```
%% Pórticos en Sentido YY
%Nombre del documento Excel
NDC='DP2.xlsx';
%Nombre de la hoja de Excel
NH='DPY';
%%número de nudos
nod=xlsread(NDC,NH,'BB97:BB97');
%%numero de pisos
np=xlsread(NDC,NH,'BB99:BB99');
%%numero de nudos restringidos
nr=xlsread(NDC,NH,'BB101:BB101');
%%Altura Total
H=xlsread(NDC,NH,'BB103:BB103');
%%Longitud Total
Lt=xlsread(NDC,NH,'BB105:BB105');
Fc=xlsread(NDC,NH,'BB106:BB106');
Ec=xlsread(NDC,NH,'BB107:BB107')*sqrt(Fc);
%GENERACION DE ELEMENTOS
 GEN=[xlsread(NDC,NH,'CX111:DD220')
      xlsread(NDC,NH,'CX221:DD320')];
%GENERACION DE NUDOS
NUDOS=[ xlsread(NDC,NH,'DH111:DN231')];
%GENERACION DE SECCIONES
SECCION=[xlsread(NDC,NH,'DR111:DV320')];
%%Generación de las coordenadas de los nudos
[X,Y]=glinea_portico(NUDOS);
[NI,NJ]=gn_portico(GEN);
[CG,ngl]=cg_sismo(nod,np,nr);
dibujo(X,Y,NI,NJ);
[ELEM]=gelem_portico(SECCION);
[L,seno,coseno]=longitud (X,Y,NI,NJ);
[VC]=vc(NI,NJ,CG);
[K]=krigidez(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,Ec);
na=np;%% numero de pisos
kaa=K(1:na,1:na);kab=K(1:na,na+1:ngl);
kba=kab';kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);
KLA=(kaa-kab*inv(kbb)*kba)
```

$$\boldsymbol{KL}^{(A)} = \boldsymbol{KL}^{(B)} = \boldsymbol{KL}^{(E)} = \boldsymbol{KL}^{(F)} = \begin{bmatrix} 5386.25 & -2499.09 \\ -2499.09 & 2162.53 \end{bmatrix}$$

Más por el aspecto didáctico se presenta el cálculo de la matriz de rigidez lateral del Pórtico D.

```
%% Datos del Pórtico D
%Nombre del documento Excel
NDC='DP2.xlsx';
%Nombre de la hoja de Excel
NH='DPY1';
%%número de nudos
nod=xlsread(NDC,NH,'BB97:BB97');
%%numero de pisos
np=xlsread(NDC,NH,'BB99:BB99');
%%numero de nudos restringidos
nr=xlsread(NDC,NH,'BB101:BB101');
%%Altura Total
H=xlsread(NDC,NH,'BB103:BB103');
%%Longitud Total
Lt=xlsread(NDC,NH,'BB105:BB105');
Fc=xlsread(NDC,NH,'BB106:BB106');
Ec=xlsread(NDC,NH,'BB107:BB107')*sqrt(Fc);
%GENERACION DE ELEMENTOS
 GEN=[xlsread(NDC,NH,'CX111:DD220')
      xlsread(NDC,NH,'CX221:DD320')];
%GENERACION DE NUDOS
NUDOS=[ xlsread(NDC,NH,'DH111:DN231')];
%GENERACION DE SECCIONES
SECCION=[xlsread(NDC,NH,'DR111:DV320')];
%%Generación de las coordenadas de los nudos
[X,Y]=glinea_portico(NUDOS);
[NI,NJ]=gn_portico(GEN);
[CG,ngl]=cg_sismo(nod,np,nr);
%dibujo(X,Y,NI,NJ);
[ELEM]=gelem_portico(SECCION);
[L,seno,coseno]=longitud (X,Y,NI,NJ);
[VC]=vc(NI,NJ,CG);
[K]=krigidez(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,Ec);
na=np;%% numero de pisos
kaa=K(1:na,1:na);kab=K(1:na,na+1:ngl);
kba=kab';kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);
KLD=(kaa-kab*inv(kbb)*kba)
```

$$\boldsymbol{KL}^{(C)} = \boldsymbol{KL}^{(D)} = \begin{bmatrix} 2095.74 & -947.27 \\ -947.27 & 778.99 \end{bmatrix}$$

Para encontrar la matriz de rigidez en coordenadas de piso. Se debe determinar las matrices $\boldsymbol{r}$ que contienen la distancia del Centro de Masas a cada pórtico. Estas matrices son:

$$\boldsymbol{r}^{(1)} = \begin{bmatrix} -6.36 & \\ & -6.36 \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{r}^{(2)} = \begin{bmatrix} -2.36 & \\ & -2.36 \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{r}^{(3)} = \begin{bmatrix} 1.64 & \\ & 1.64 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{r}^{(4)} = \begin{bmatrix} 5.64 & \\ & 5.64 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{r}^{(5)} = \begin{bmatrix} 9.64 & \\ & 9.64 \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{r}^{(A)} = \begin{bmatrix} -10 & \\ & -10 \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{r}^{(B)} = \begin{bmatrix} -6 & \\ & -6 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{r}^{(C)} = \begin{bmatrix} -2 & \\ & -2 \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{r}^{(D)} = \begin{bmatrix} 2 & \\ & 2 \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{r}^{(E)} = \begin{bmatrix} 6 & \\ & 6 \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{r}^{(F)} = \begin{bmatrix} 10 & \\ & 10 \end{bmatrix}$$

Se recuerda que los valores de r son positivos si la orientación positiva del pórtico, rota con respecto al centro de masas en sentido antihorario. A continuación se presenta el cálculo de la matriz de rigidez en coordenadas de piso.

```
%% Matrices de rigidez lateral de los Pórticos
KL2=KL1;KL4=KL3;KL5=KL3;
KLB=KLA;KLE=KLA;KLF=KLA;KLC=KLD;
%% Matriz de rigidez en coordenadas de piso
r1=mdiag(-6.3636,-6.3636);
r2=mdiag(-2.3636,-2.3636);
r3=mdiag(1.6364,1.6364);
r4=mdiag(5.6364,5.6364);
r5=mdiag(9.6364,9.6364);

rA=mdiag(-10,-10);
rB=mdiag(-6,-6);
rC=mdiag(-2,-2);
rD=mdiag(2,2);
rE=mdiag(6,6);
rF=mdiag(10,10);

KLT=[KL1;KL2;KL3;KL4;KL5;KLA;KLB;KLC;KLD;KLE;KLF];
RT=[r1;r2;r3;r4;r5;rA;rB;rC;rD;rE;rF];
ALPHA=[0;0;0;0;0;90;90;90;90;90;90];
ntot=11;
NP=2;
[KE,A]=matriz_es1(ntot,NP,KLT,RT,ALPHA);
```

Las submatrices de la matriz de rigidez en coordenadas de piso K_E, son

$$\boldsymbol{K}_{xx} = \begin{bmatrix} 25552.51 & -11724.24 \\ -11724.24 & 9930.50 \end{bmatrix} \quad \boldsymbol{K}_{yy} = \begin{bmatrix} 25736.65 & -11890.93 \\ -11890.93 & 10208.15 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{K_{x\theta}} = \begin{bmatrix} 14335.83 & -5718.67 \\ -5718.67 & 3442.98 \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{K_{\theta\theta}} = \begin{bmatrix} 2314562.32 & -1067744.26 \\ -1067744.26 & 913927.06 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{K_{xy}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{K_{y\theta}} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\boldsymbol{K_E} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{K_{xx}} & \boldsymbol{K_{xy}} & \boldsymbol{K_{x\theta}} \\ & \boldsymbol{K_{yy}} & \boldsymbol{K_{y\theta}} \\ & & \boldsymbol{K_{\theta\theta}} \end{bmatrix}$$

Las distancias del Centro de Masas, a cada una de las losas rectangulares indicadas en la figura 7 f, son: $d_1 = 8.17\ m$; $d_3 = d_1$; $d_2 = 4.36\ m$. El momento de inercia de la masa, J_i se halla aplicando el teorema de los ejes paralelos.

$$J_i = \sum_{j=1}^{3} J_{jCM} + m_j\ d_j^2 \qquad (5)$$

Donde J_i es el momento de inercia de la masa del piso i; J_{jCM} es el momento de inercia de la losa rectangular j con respecto a su centro de masa; m_j es la masa de la losa rectangular j ; d_j es la distancia del centro de masa de la losa rectangular j al Centro de Masas de la Estructura. Las sentencias para el cálculo de la matriz de masas se listan a continuación.

```
%% CALCULO DE LA MATRIZ DE MASA EN COORDENADAS DE PISO
D=0.5;L=0.2;Po=D+0.25*(L);AREA1=(4*16);AREA2=(4*12);
m1=Po*AREA1/9.8;m3=m1;
m2=Po*AREA2/9.8;
m=mdiag(m1+m2+m3,m1+m2+m3);

J1=2*(m1/12*(4^2+16^2)+(m1*8.17^2))+m2/12*(4^2+12^2)+(m2*4.36
^2);
J2=J1;
J=mdiag(J1,J2);
M=mdiag(m,m,J);
```

La matriz de masas que se obtiene es:

$$\boldsymbol{M} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{m} & & \\ & \boldsymbol{m} & \\ & & \boldsymbol{J} \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{m} = \begin{bmatrix} 9.87 & 0 \\ 0 & 9.87 \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{J} = \begin{bmatrix} 729.46 & 0.00 \\ 0.00 & 729.46 \end{bmatrix}$$

La forma del vector de incidencia $\boldsymbol{b}$, para el análisis sísmico en sentido transversal, es el siguiente:

$$\boldsymbol{b} = \begin{bmatrix} \boldsymbol{b_x} \\ \boldsymbol{b_y} \\ \boldsymbol{b_z} \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{b_x} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \qquad \boldsymbol{b_y} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \boldsymbol{b_z}$$

A continuación se presenta el cálculo de los períodos y modos de vibración (Tabla 2), de los desplazamientos y derivas de piso ante la componente N-S del terremoto de Pedernales de 2016, en el Pórtico 1, en Centro de Masas y en el Pórtico 5 (Tabla 3)

```
%%CALCULOS PERIODOS DE VIBRACION
[T,fi,OM]=orden_eig(KE,M);
%% CALCULOS DE PARTICIPACION MODAL
bx=[1;1]; by=[0;0]; bz=[0;0];
b=[bx;by;bz];
zeda=0.05;NP=np;na=3*NP;
for i=1:na
    gama(:,i)=abs(((fi(:,i))'*M*b)/((fi(:,i))'*M*(fi(:,i))));
end
Y=[0;3.0;6.0];
[Ad]=espectros_manta(T);
[qt]=desplazamientos_modales_CQC(T,fi,Ad,gama,na,OM,zeda);
qtt=qt(1:NP);
[Derv]=deriva(Y,qtt);
% Desplazamientos en portico 1 extremo
A1=A(1:2,:);
p1=A1*qt;
[Derv]=deriva(Y,p1);
% Desplazamiento en portico 5 extremo
A5=A(9:10,:);
p5=A5*qt;
[Derv]=deriva(Y,p5);
```

Tabla 2 Períodos T, y factores de participación modal Γ, análisis transversal.

Modo	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
$\boldsymbol{T}$ ($\boldsymbol{s}$)	0.328	0.322	0.292	0.112	0.110	0.099
$\boldsymbol{\Gamma}$	4.215	0	0.579	1.244	0	0.329

Tabla 3 Desplazamientos y derivas de piso en pórticos exteriores 1 y 5, y en CM.

Piso	**Pórtico 1**		**Centro Masas**		**Pórtico 5**		Promedio De derivas en Pórticos 1 y 5	δ_{avg} (cm)
	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)	q (cm)	γ (%)		
1	1.19	0.3972	1.41	0.4684	1.73	**0.5762**	0.4867	1.460
2	2.23	0.3469	2.61	0.4008	3.18	0.4823	0.4146	2.705

7. NUEVAS FUNCIONES DEL SISTEMA *CEINCI-LAB*

Las nuevas funciones que se presentan en este apartado, son para el análisis sísmico de pórticos regulares, en los que se ha considerado un nudo en la mitad de las vigas.

Si bien, la entrada de datos no es gráfica pero facilita notablemente el ingreso de datos y no se pierde el espíritu del sistema de computación ***CEINCI-LAB*** en que se desea que el usuario programe la solución, paso a paso, del análisis sísmico.

- ***[nv,np,nudt,nudcol,nudvg,nod,nr]=geometria_nudo_viga(sv,sp)***

El programa ***geometria_nudo_viga*** facilita notablemente el ingreso de datos de la geometría de un pórtico regular; los datos de ingreso son: ***sv*** que es un vector que contiene las luces de cada uno de los vanos; ***sp*** es otro vector con la altura de cada uno de los pisos. El programa reporte: ***nv*** número de vanos; ***np*** número de pisos; ***nudt*** es el número de elementos totales, se recuerda que en cada viga se considera un nudo en la mitad; ***nudcol*** es el número de columnas; ***nudvg*** es el número de vigas; ***nod*** es el número de nudos; ***nr*** es el número de nudos restringidos.

- ***[X,Y]=glinea_portico2(nv,np,sv,sp,nod,nr)***

  Este programa es similar a la función ***glinea_portico*** ya descrito, pero la entrada de datos es diferente. Determinar los dos vectores ***X, Y*** con las coordenadas de los nudos a partir de los resultados que reporta el programa anterior. Solo sirve para pórticos regulares, considerando nudo en la mitad de las vigas.

- ***[NI,NJ]=gn_portico2(nr, nv, nudt, nudcol, nudvg)***

  Programa similar a ***gn_portico*** que determina los vectores con las coordenadas del nudo inicial y final denominados ***NI,NJ*** pero en esta ocasión los datos de entrada son diferentes.

- ***[GEN]=geometria_nudo_diagonales(nv, np, nudt, mar)***

  La función ***geometria_nudo_diagonales*** está orientada a la generación de contravientos de acero en forma de “V” invertida, y se debe utilizar después de los programas: ***geometria_nudo_viga*** y ***gn_portico2***, con los que se generan los vectores ***NI,NJ***, que contienen el nudo inicial de la estructura conformada por columnas y vigas. Los tres primeros datos han sido ya indicados, resta por indicar que ***mar*** es un vector que contiene el número del vano que tiene un contraviento; para el efecto se deben numerar primero los vanos desde abajo hacia arriba y de izquierda a derecha.

El programa reporta una matriz ***GEN*** que contiene el número del elemento diagonal, el número del nudo inicial de ese elemento y el número del nudo final. Se destaca que los programas que se han presentado numeran primero los elementos columnas, luego los elementos vigas y finalmente los elementos de las diagonales en forma de V invertida, empezando desde el primer piso hasta el último y desde la izquierda a derecha pero solo numera en los vanos que han sido identificados en el vector ***mar***

La matriz ***GEN*** en cada fila tiene 7 datos; el primero de ellos identifica el elemento, el segundo el nudo inicial, el tercero el nudo final y los cuatro datos restantes son cero. Esto es porque después se debe utilizar el programa ***gn_portico*** para obtener los vectores con los nudos iniciales y finales exclusivamente de los elementos de las diagonales. A estos vectores en lo que sigue se denominan ***NI2, NJ2.***

- ***[NI,NJ]=gn_portico3(NI,NJ, NI2,NJ2)***

Con el programa ***gn_portico2*** se obtienen dos vectores ***NI, NJ***, que contienen los nudos iniciales y finales de los elementos, pero de la estructura sin contravientos en forma de V invertida. Luego una vez que se ha ejecutado el programa ***geometria_nudo_diagonales,*** se utiliza el programa ***gn_portico*** para determinar los vectores con los nudos iniciales y finales de las diagonales, que se han denominado ***NI2, NJ2.***

Por lo tanto, este momento se tiene cuatro vectores, dos de ellos ***NI, NJ*** con los nudos inicial y final del pórtico conformado por vigas y columnas; adicionalmente se tiene otros dos vectores ***NI2, NJ2,*** con los nudos iniciales y finales de las diagonales.

Para tener en un solo vector todos los nudos iniciales ***NI,*** y todos los nudos finales ***NJ***, de toda la estructura: columnas, vigas y diagonales, se utiliza el programa ***gn_portico3*** que genera esta información, con los datos anteriores obtenidos en forma parcial (primero sin las diagonales ***NI,NJ*** y segundo solo de las diagonales ***NI2, NJ2***).

8. PÓRTICO EXTERIOR DE ESTRUCTURA DE EX PARQUEADERO DE ULEAM

Se realiza un análisis sísmico plano del pórtico indicado en la figura 9, para ilustrar el uso de los nuevos programas que han sido incorporados al sistema de computación ***CEINCI-LAB.***

- **Análisis de pórtico sin diagonales de acero**

El análisis sísmico se realiza considerando nudos en la mitad de las vigas y con los grados de libertad indicados en la figura 1.

Las columnas son todas de 55/40 cm, y las vigas todas de 40/80 cm. La resistencia del hormigón es de $f_c' = 240 \frac{Kg}{cm^2}$. La carga muerta es $D = 0.96 \frac{T}{m^2}$ y la carga viva $L = 0.5 \frac{T}{m^2}$ Para la determinación de la matriz de masas se trabaja con

el 25% de la carga viva y se supone que las masas son iguales en todos los pisos.

Figura 9 Pórtico exterior de estructura de Ex Parqueadero de la ULEAM, afectada por el terremoto de 2016 (M=7.8)

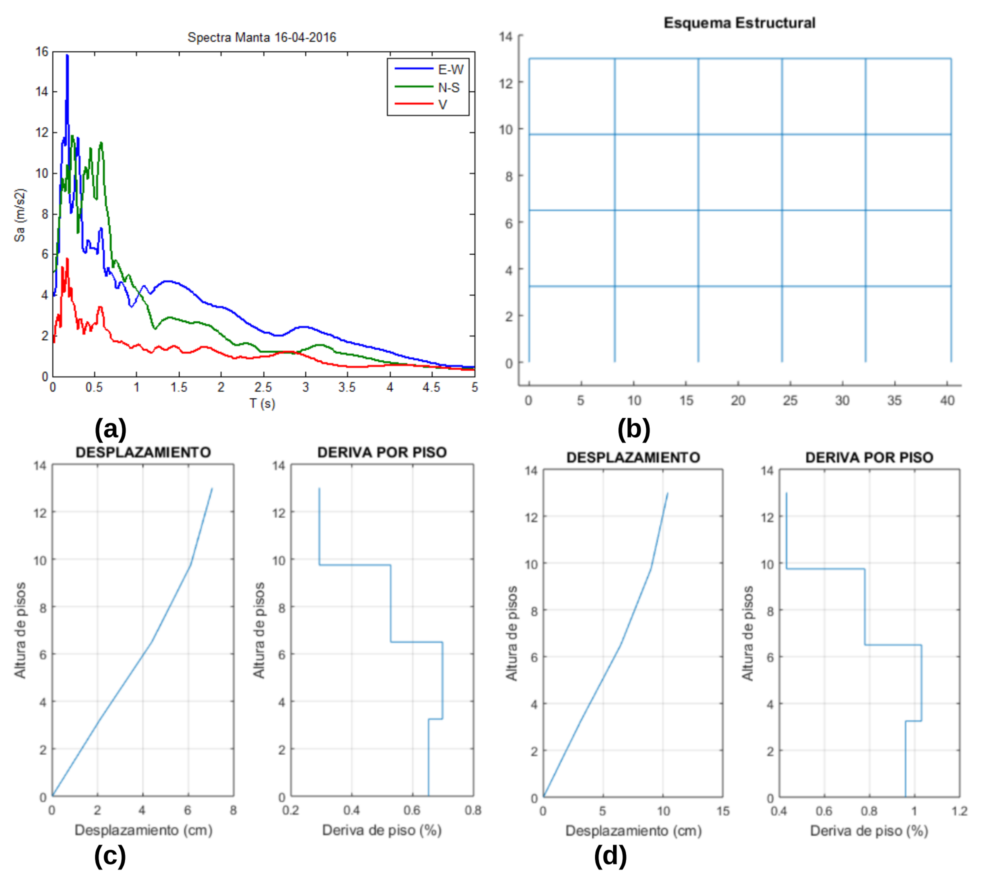


Figura 10 a) Espectros obtenidos en Manta de terremoto de Pedernales de 2016 (M=7.8); b) Geometría de Pórtico obtenido con programa de CEINCI-LAB; c) Desplazamientos y deriva de piso ante componente E-W; d) Desplazamientos y deriva de piso ante componente N-S.

El análisis finaliza con la determinación de los desplazamientos laterales y derivas de piso, ante la acción de los espectros obtenidos en Manta, del terremoto de 2016, componentes N-S y E-W, que se indican en la figura 10 a; en la figura 10 b, se presenta la geometría del pórtico obtenida con ***CEINCI-LAB.***

En las figuras 10 c, y 10 d, se presentan los desplazamientos laterales máximos y derivas de piso, ante la componente espectral E-W y N-S, respectivamente del espectro obtenido con los registros de aceleraciones obtenidos en Manta, en un perfil de suelo "C". Finalmente, en la tabla 4 se muestra estos desplazamientos y derivas ante las dos componentes de movimiento del suelo.

Tabla 4 Desplazamientos q y derivas de piso γ, ante el espectro obtenido en Manta del terremoto del 16 de abril de 2016.

Piso	Componente E-W		Componente N-S	
	q (cm)	γ $(\%)$	q (cm)	γ $(\%)$
1	2.12	0.65	3.12	**0.96**
2	4.39	0.70	6.47	**1.03**
3	6.10	0.53	9.00	0.78
4	7.05	0.29	10.40	0.43

```
clear;clc
% Análisis Sísmico Espectral de Pórtico Plano
% de Parqueadero de Manta, empleando nuevas
% funciones de CEINCI-LAB
%........................................
%    Ej_Parqueadero
%........................................
%Geometría del pórtico
sv =[8.2; 8; 8; 8; 8.2]; %Ingresar un vector con la logitud de vanos en (metros)
sp =[3.25; 3.25; 3.25; 3.25]; %Ingresar un vector con la altura de pisos en (metros)
fc =240; % La resistencia a la compresión del hormigón f´c (kg/cm2)
E=150000*sqrt(fc); % Calcula el modulo de elasticidad del material
SECCION=[1 0.55 0.40 23 1;25 0.40 0.80 39 1];
CM=0.96;CV=0.50;Po=(CM+0.25*CV)*5.5/2;m1=Po*40.4/9.8;
%..................................................
[nv,np,nudt,nudcol,nudvg,nod,nr]=geometria_nudo_viga(sv,sp);
[X,Y]=glinea_portico2(nv,np,sv,sp,nod,nr);
[NI,NJ]=gn_portico2(nr, nv, nudt, nudcol, nudvg);
dibujo(X,Y,NI,NJ)
[CG,ngl]=cg_sismo2(nod,nr,Y);
[ELEM]=gelem_portico(SECCION);
[L,seno,coseno]=longitud(X,Y,NI,NJ);
[VC]=vc(NI,NJ,CG);
[K]=krigidez(ngl,ELEM,L,seno,coseno,VC,E);
na=np;%#gdl por planta, considerar na=np
kaa=K(1:na,1:na);kab=K(1:na,na+1:ngl);kba=kab';
kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);
```

```
T=-kbb\kba;KL=kaa+kab*T; % Matriz de rigidez lateral
%% Análisis modal espectral
M=mdiag(m1,m1,m1,m1);
[T,fi,OM]=orden_eig(KL,M);
% Factores de participacion modal
b=[1;1;1;1];na=4;
for i=1:na
  gama(:,i)=abs(((fi(:,i))'*M*b)/((fi(:,i))'*M*(fi(:,i))));
end
zeda=0.05;
[Ad]=espectros_manta(T);
[qt]=desplazamientos_modales_CQC(T,fi,Ad,gama,na,OM,zeda);
[Derv]=deriva(Y,qt)
disp('Finalizado con éxito')
```



Figura 11 Panorámica de la estructura del Ex Parqueadero de la ULEAM que fue reforzado con diagonales, disipadores de energía TADAS, encamisado con acero de columnas y creación de un muro en la parte central. El pórtico de la derecha es el analizado en el ejemplo.

- **Análisis de pórtico con diagonales de acero**

Ahora, supongamos que en el marco de la figura 9, se colocan diagonales de acero en forma de V, invertida en el primero y quinto vano, como se ilustra en la figura 12 a; las diagonales son tubos circulares de 6’’ de diámetro interior y 11 mm, de espesor. Se desea mostrar cómo se obtiene la matriz de rigidez lateral

para este pórtico haciendo uso de las nuevas funciones del sistema de computación ***CEINCI-LAB.***

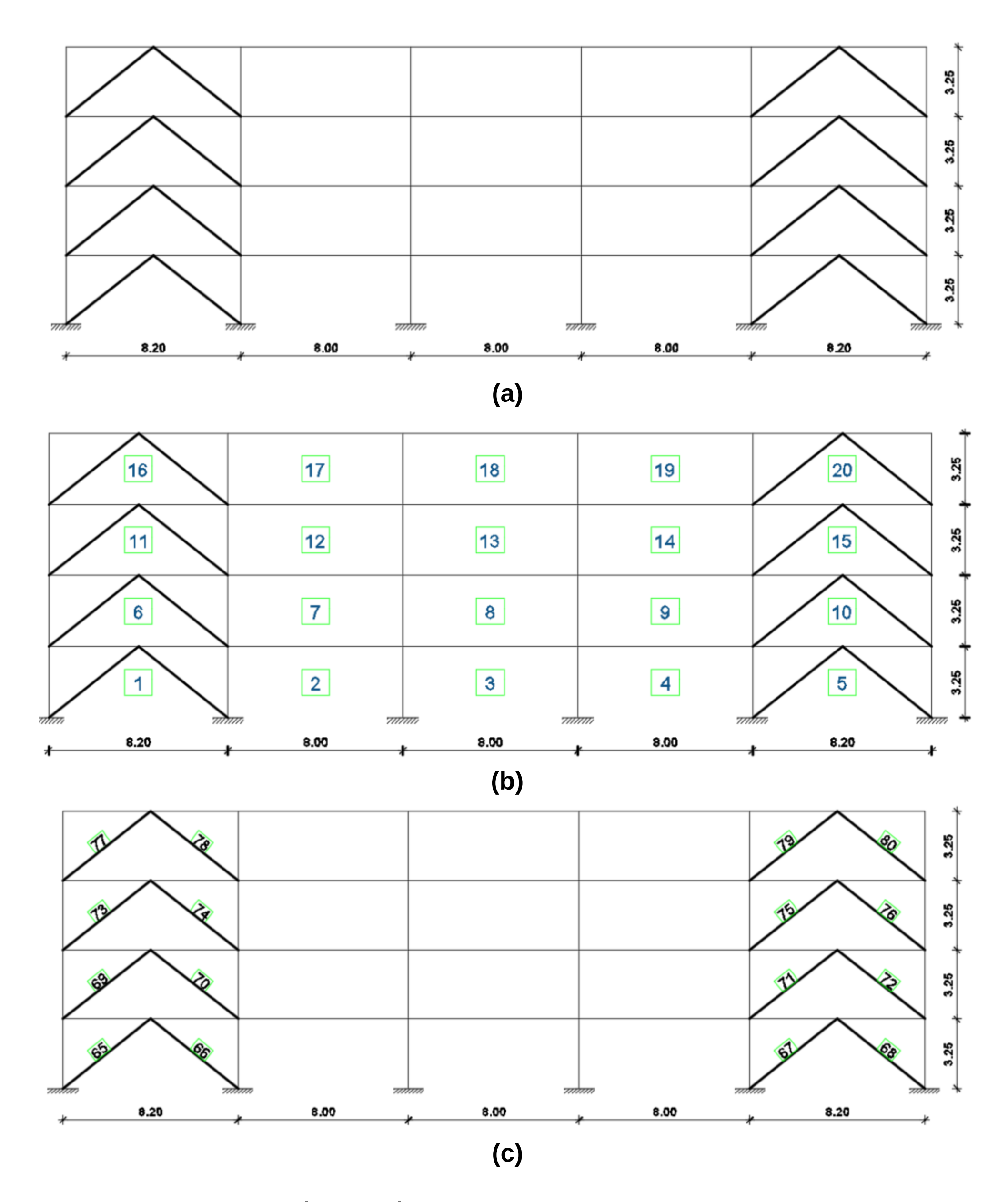


Figura 12 a) Geometría de Pórtico con diagonales en forma de V invertida; b) Numeración de los vanos para uso de programa; c) Identificación del número de elemento para las diagonales

En la figura 12 b, se han numerado los vanos, para que el usuario sepa identificar el número del vano o vanos en los cuales se tiene los contravientos en forma de V invertida; en este ejemplo se puede notar que son los vanos 1; 5; 6; 10; 11; 15; 16; 20 por lo tanto se incluye en el programa desarrollado

anteriormente una nuevo vector denominado mar que incluye esta información y se definen las secciones para las diagonales de acero en base al área e inercia de las mismas.

Para calcular la matriz de rigidez lateral se utilizan los programas indicados en el apartado 2 y las nuevas funciones descritas en 7; a continuación, se presenta el programa en MATLAB.

```
clear;clc
% Matriz de rigidez lateral de un pórtico
% del Parqueadero de Manta con V invertidas, empleando nuevas
% funciones de CEINCI-LAB
%.......................................
%    Ej_Parqueadero_V
%.......................................
%Geometría del pórtico
sv =[8.2; 8; 8; 8; 8.2]; %Ingresar un vector con la logitud de vanos en (metros)
sp =[3.25; 3.25; 3.25; 3.25]; %Ingresar un vector con la altura de pisos en (metros)
mar=[1;5;6;10;11;15;16;20];%Número del marco en el que se desea colocar
diagonales
%Propiedades del material
fc =240; % La resistencia a la compresión del hormigón f´c (kg/cm2)
E=150000*sqrt(fc); % Calcula el módulo de elasticidad del material (T/m2)
Es=21000000; % módulo de elasticidad del acero (T/m2)
%Para diagonales se calcula el área e inercia
diai=0.0254*6; %Diámetro interior
diae=0.0254*6+11*2/1000; %Diámetro exterior
area=pi*diae^2/4-pi*diai^2/4; % área
inercia=pi*diae^4/64-pi*diai^4/64; % inercia
SECCION=[1 0.55 0.40 23 1;25 0.40 0.80 39 1;65 area inercia 15 1];
%.................................................
[nv,np,nudt,nudcol,nudvg,nod,nr]=geometria_nudo_viga(sv,sp);
[X,Y]=glinea_portico2(nv,np,sv,sp,nod,nr);
[NI,NJ]=gn_portico2(nr, nv, nudt, nudcol, nudvg);
% Rutinas para ingresar diagonales V invertida
[GEN]=geometria_nudo_diagonales(nv, np, nudt, mar);
[NI2,NJ2]=gn_portico(GEN);
[NI,NJ]=gn_portico3(NI,NJ, NI2,NJ2);
%.................................................
dibujo(X,Y,NI,NJ)
[CG,ngl]=cg_sismo2(nod,nr,Y);
[ELEM]=gelem_portico(SECCION);
[L,seno,coseno]=longitud(X,Y,NI,NJ);
[VC]=vc(NI,NJ,CG);
%Contribucion de elementos de hormigón armado (Columnas y Vigas)
ELEMH=ELEM(1:64,:);
LH=L(1:64); senoH=seno(1:64);cosenoH=coseno(1:64); VCH=VC(1:64,:);
[KH]=krigidez(ngl,ELEMH,LH,senoH,cosenoH,VCH,E);
%Contribucion de elementos de Acero
ELEMA=ELEM(65:80,:);
LA=L(65:80); senoA=seno(65:80);cosenoA=coseno(65:80); VCA=VC(65:80,:);
```

```
[KA]=krigidez_acero(ngl,ELEMA,LA,senoA,cosenoA,VCA,Es);
K=KH+KA; % Matriz de rigidez lateral total
% Condensacion de K
na=np;%#gdl por planta, considerar na=np
kaa=K(1:na,1:na);kab=K(1:na,na+1:ngl);kba=kab';
kbb=K(na+1:ngl,na+1:ngl);
T=-kbb\kba;KL=kaa+kab*T; % Matriz de rigidez lateral
KL % Matriz de rigidez lateral
```

La matriz de rigidez lateral que se obtiene es:

$$\boldsymbol{K_L} = \begin{bmatrix} 134727.5 & -69146.2 & 1529.6 & 2289.2 \\ -69146.2 & 133167.2 & -69201.8 & 3796.6 \\ 1529.6 & -69201.8 & 132735.1 & -64970.8 \\ 2289.2 & 3796.6 & -64970.8 & 58822.8 \end{bmatrix}$$

9. COMENTARIOS Y CONCLUSIONES

El objetivo principal del sistema de computación ***CEINCI-LAB*** es enseñar, por ese motivo se presentan los programas fuentes, para que el lector lea con detenimiento y así aprende. De igual forma con ***CEINCI-LAB*** el usuario debe saber la secuencia de uso de los diferentes programas, saber que datos se da a cada uno de ellos y que resultados se obtienen.

No se trata de tener un programa ejecutable, en el cual el usuario de datos y obtenga resultados. No se deja exprofeso que al elaborar su propio programa deba programar algo, muy elemental pero eso le ayuda a entender el análisis estructural.

En este artículo se ha presentado una interfaz en Excel para facilitar la creación del pórtico plano, sin lugar a dudas, esto facilita el uso de ***CEINCI-LAB*** pero también se ha indicado nuevos programas que han sido incorporados al sistema de computación, para facilitar el ingreso de datos que definen la geometría de los pórticos.

Por lo tanto sin perder el espíritu de ***CEINCI-LAB*** que es enseñar, se han incorporado nuevos programas y una interfaz en Excel para hacer más amigable su uso.

REFERENCIAS

1. Aguiar R., Del Castillo F., (2019,1), “Primeros trabajos en el reforzamiento sísmico de parqueadero de la ULEAM”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **24 (1)**, 39-71.
2. Aguiar R., Del Castillo F., (2019,2), “Descripción del análisis sísmico de una estructura con disipadores TADAS”, *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras,* **24 (1)**, 73-107.
3. Aguiar R., (2014), *Análisis Matricial de Estructuras,* Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH, cuarta edición, 676 p., Quito.

4. Aguiar R., (2012), *Dinámica de Estructuras con CEINCI-LAB,* Centro de Investigaciones Científicas. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, segunda edición, 416 p.
5. García, Ó. R., García, L. M. J., Castelló, L. P., Aparicio, A. G., & Vidal, A. P. (2018). *MATLAB: conceptos básicos y descripción gráfica*. Universidad Miguel Hernández.
6. NEC-15, *Norma Ecuatoriana de la Construcción,* Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda.
7. Mañas Mañas, J. F., & Pinta, M. A. (2018). Métodos Numéricos para el Análisis Matemático con Matlab.